

# 正負の曲げを受けるコンクリートラーメン隅角部の補強法に関する実験的研究

川 口 直 能\*

## Experimental Study on the Corner Reinforcement of Concrete Rigid Frames Subjected to Positive and Negative Bending

By Naotaka Kawaguchi\*

**Synopsis:** This report presents the experimental results on reinforced concrete corners subjected to loads opening and closing the corner.

It was found that the use of diagonal and perpendicular crossed reinforcement having the equal volume of longitudinal bar, could reduce the formation of diagonal cracking causing brittle failure, and also could produce the full flexural strength of the bending member.

**要旨:** 本報告は鉄筋コンクリートラーメン隅角部が開かれたり、閉じられたりするような荷重作用を受ける場合の補強法について実験的に検討したものである。

実験結果の要点は次のとおりである。すなわち、斜め筋および軸方向鉄筋と等量の直交筋を使用すれば、もろい破壊の原因となる斜めひびわれの形成を防止することができ、あわせて隅角部に対し曲げ部材と等しい強度を発揮させることが可能であることが明らかとなった。

### 1. ま え が き

周知のとおり、構造物を構成する部材には、断面力として曲げモーメント、軸方向力（圧縮、引張）、せん断力、ねじり等が何種も組み合わさり作用している。これらの断面力は部材隅角部において一般に方向が変化し、とくにコンクリートラーメン隅角部ではひびわれの発生や断面形状の変化などによって局部的に応力集中が生じ易く、応力状態も複雑になっている。この隅角部は軸力やせん断力、曲げモーメント等の荷重伝達機能とヒンジ形成時に十分な回転能力をもつことが要求され、この意味では梁、柱と少なくとも同等以上の耐力や変形能力を有していなければならない。

しかし、部材隅角部には後述するように曲げモーメントの方向（正負）によって相違するタイプの斜めひびわれが発生し、このひびわれが発生すると部材が耐力を失うまでの余裕が少ないとされている。このため、梁や柱の部分でまだ十分な耐力や変形能力を有している状態にも拘らず、隅角部で急激な破壊が生ずる可能性がある。

コンクリートラーメン隅角部に関する研究の歴史は古いが、主にひびわれ発生後のつり合い機構が未解明なためと、上記の斜めひびわれに対する適切な補強法がないために、隅角部補強に関する体系的な提案はなされていないのが実情である。<sup>1)</sup> さらに隅角部では正負の曲げが作用するのが通例にも拘らず、隅角部が閉じられる場合（負の曲げ）と開かれる場合（正の曲げ）とが別々に検討されてきたため、両者を満足する補強法は確立されていないように思われる。また後者の研究は前者に比べて少ない。

これらの点に注目し、本報告はコンクリートラーメン隅角部が閉じられる場合と開かれる場合の双方について、ひびわれの発達状況、耐力などを実験面から明らかにすることによって解析上の基礎資料を得ることを目的とし、あわせて正負の曲げが作用する場合の補強法について実験的に検討したものである。

### 2. 従来の研究の概要

隅角部の挙動に関する研究の歴史は古く、70年程度にわたって検討されている。これらのうちで鉄筋コンクリート構造に関連したものについて、その要点を主要な報告例を参考にして紹介すれば、筆者の調査した範囲で

\* 土木工学科 助教授 工学博士  
Assistant Professor, Civil Engineering Division, Dr. of Engineering

は以下のとおりである。

研究の端緒は福田の報告<sup>2)</sup>に始まると思われる。この研究は、ひびわれ発生前の断面を対象とし、弾性論を適用して曲げおよびせん断（軸力）が作用する隅角部の応力分布を検討したものである。この中で、応力の最大値が生ずる断面が対角線断面ではなく、隅角部端点から垂直線上の断面であることを論じている。この事は後に実施された数々の実験からも確認されているようである。

さらにひびわれ発生前および発生後の応力分布の一例を明らかにする目的で光弾性実験も報告されている。<sup>3)</sup>以上の研究はモデル実験または実物大の試験を実施する上での基礎解析や基礎実験としての意味があるように思われる。

鉄筋コンクリート試験体を用いた研究例として、種々の配筋例を基にして体系的に隅角部補強について報告しているのが R. Mayfield らの研究<sup>4), 5)</sup>と Nilsson の研究<sup>6)</sup>である。前者の報告では、隅角部が正負の曲げを受ける場合について、それぞれ別々に適当と思われる配筋方法が提案され、とくに正の曲げを受ける場合（隅角部が開かれる場合）には、負の曲げを受ける場合（隅角部が閉じられる場合）に比して配筋の違いが耐力に与える影響が大であることを指摘している点が注目される。後者の報告は、隅角部が正の曲げを受ける場合について総合的に補強方法を検討したものであり、円形配筋と斜め鉄筋との併用が最も良好であることを主張し、使用する材料の品質に制限を加えていることが特徴である。ただし、負の曲げを受ける場合については論じられていない。

一方、津野らは従来の研究成果を系統的に整理し、さらに独自に実施した研究例<sup>7)</sup>を総合させて、隅角部の補強法について構造細目等も含めて提案している。<sup>8)</sup>

以上が主要な報告の概要であるが、次の問題点が残されているように思われる。

i) ひびわれ発生後、とくに斜めひびわれ発生後のつり合い機構の解明, ii) 正負の曲げを受ける場合の補強方法ならびに他の荷重、たとえばねじりなどが組み合わされた場合の補強方法, iii) 隅角部またはその近傍に形成されるプラスチックヒンジの挙動への影響、すなわち隅角部の剛性の評価と変形能力の評価。

### 3. 実験方法

#### (1) 配筋方法の基本方針

配筋法を選択するに当たっては次の諸点に留意した。

ア) 隅角部は互いに直交する鉄筋（直交筋）によって補強する。

イ) ハンチを有する試験体を対象とする。

ウ) ハンチに沿う斜め方向の鉄筋（斜め筋）を内側に配置する場合と、配置しない場合との比較検討を実施できるものとする。

エ) 正の曲げに対し引張側となる鉄筋は、隅角部において折り曲げないものとする。

ア) は本実験の根幹をなすものである。従来の実験例<sup>4)~6), 9)</sup>によれば、隅角部が正負の曲げを受ける場合には、図1に示すようなそれぞれ相違したひびわれが発達する。とくに斜めひびわれの方向は互いに直交する点が注目される。ひびわれに対する補強はこれと直角に配筋することが基本であるので、仮に負の曲げによる斜めひびわれ（図1-a）に対してこれと直角に配筋した場合、正の曲げが作用したときにはこの鉄筋は有効でなく、かえって弱点となる可能性<sup>10)</sup>がある。

したがって隅角部が正負の曲げを受ける場合には次のような配筋方針が考えられる。

i) 正負の曲げおよびせん断力の大きさが明確なときには、いずれか卓越した組合せを基本として配筋し、他の組合せに対しても有効か否かを検討する。

ii) すでに提案されている正の曲げまたは負の曲げに対して有効な配筋方法を組み合わせるか、または重ね合わせる。<sup>8)</sup>

iii) ストラップと同様な考え方、すなわち正負の曲げせん断に対して有効なように互に軸方向に対し直交する配筋方法を採用する。

i) の方法は理想的であるが、条件が限られるため一般的性に問題があるように思われる。ii) の方法は、それぞれの長所を取り入れられるが、荷重の組合せによっては斜め筋と斜めひびわれの方向とが一致する可能性があり、これが耐力低下を誘起させたり、また実際の配筋が困難になる場合もあると考えられる。

現時点では、ひびわれ発生後のつり合い機構の変化などが明確に解析されていないので、上述の三つの方法のうちどれが適当であるかを論ずることはできない。しかし、本報告では、配筋が比較的容易にできること、また互いに直交する斜めひびわれ双方に対してほぼ有効と見なせることとの二つの立場から iii) の直交配筋を採用することとした。

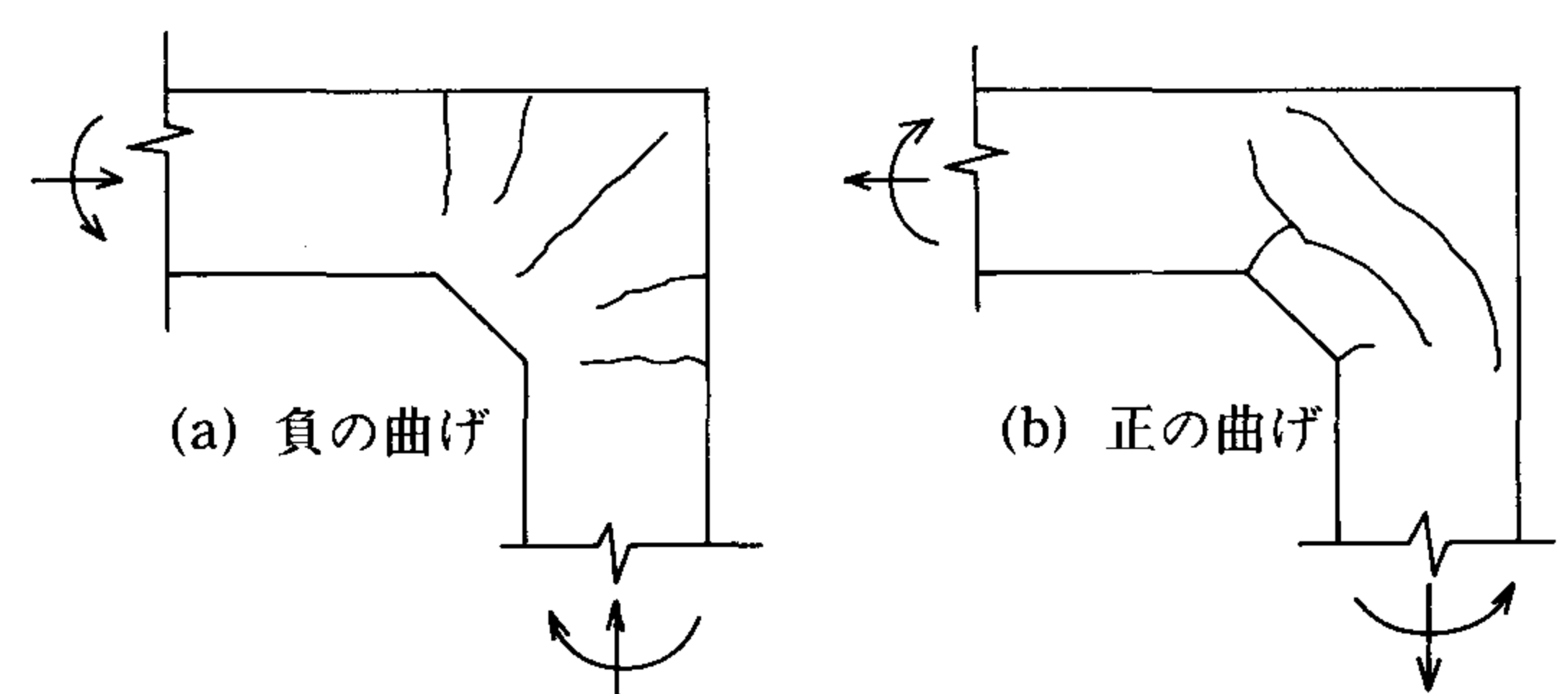


図1 ひびわれのパターン

イ)～エ)の方針については示方書の規定および従来の研究成果を取り入れたものである。とくに内側に斜め筋を配置することについては、正の曲げが作用したときに隅角部の開口を防ぎ、ある程度斜めひびわれの発生と発達を防止し、隅角部としての耐力を増大させる可能性があることによった。

## (2) 試験体と材料の品質

図2に示した試験体を基本とし、前節で述べた方針にしたがい図3に示すように直交筋の量と斜め筋の有無とを変化させた8通りの偏心荷重用試験体を製作した。同一補強条件の試験体は3個とし、総本数は42個である。Aは主鉄筋のみの試験体であり、B～Dはそれぞれ直交筋を増加させたもので、添字の1は隅角部内側に斜め筋を配置しない試験体を示し、添字2は斜め筋を配置したものを示している。なお、梁および柱部の軸方向鉄筋量は一定である。鉄筋はすべてSD30を使用し、主鉄筋にはD13を、その他の補強用にはD10を用いた。

コンクリートは $\sigma_{ck}=300\text{ kg/cm}^2$  (29.4 MPa)を目標とし、配合は表1に示すとおりである。試験体は打設2日後に脱型し、約10日間の散水養生を行なったのちに材齢約50～90日で実験を実施した。試験体と同一養生条件で保存した標準供試体による品質試験結果は表2に示されている。

## (3) 荷重方法および測定項目

図2の試験体に偏心荷重を作用させることによって隅

角部が正負の曲げを受ける場合の挙動を検討した。隅角部が閉じる場合には、図4に示すようにアムスラー試験機によって偏心圧縮力を作用させた。一方、開かれる場合の検討には、図5に示すように鋼棒を介して油圧ジャッキによって偏心引張力を作用させる方法を用いた。

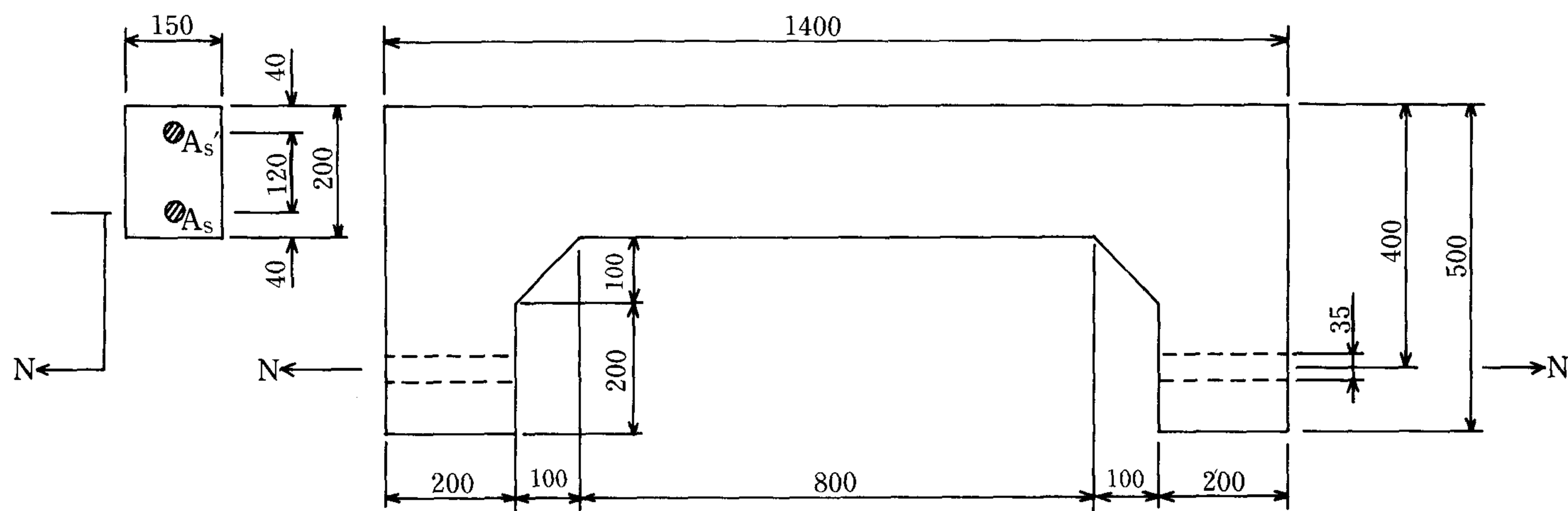
測定項目については、鉄筋とコンクリートのひずみ測定に重点をおいた。鉄筋については、図6に示した箇所でゲージ長さ5mmのワイヤストレーンゲージによってひずみ測定を行ない、コンクリートについては図7に示した箇所においてゲージ長さ100mmのコンタクトゲージを用いて測定した。測定箇所が比較的多い理由は、破壊位置の推定が困難なためと、破壊断面近傍の変形分布を検討し易くするためである。

## 4. 実験結果

軸方向に対しおよそ $30^\circ\sim 60^\circ$ の角度をなして独立に発生するひびわれを斜めひびわれと定義し、その発生荷重を表2にまとめた。また試験機が示した最大荷重を破壊荷重とし、同様に表2に示した。以下に補強法を提案するに当たって本実験の範囲内で重要と思われる2,3の項目について検討する。

### (1) 斜めひびわれの発生と破壊箇所

斜めひびわれの発生荷重は表2に示すとおりである。さらに図8,9に破壊直前における隅角部近傍のひびわれ状況の一例を示した。



UNIT : mm

図2 試験体の形状

表1 コンクリートの配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプの 範囲 (cm)	空気量の 範囲 (%)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
15	7 ± 1	2.5	55	50.8	188	342	914	875

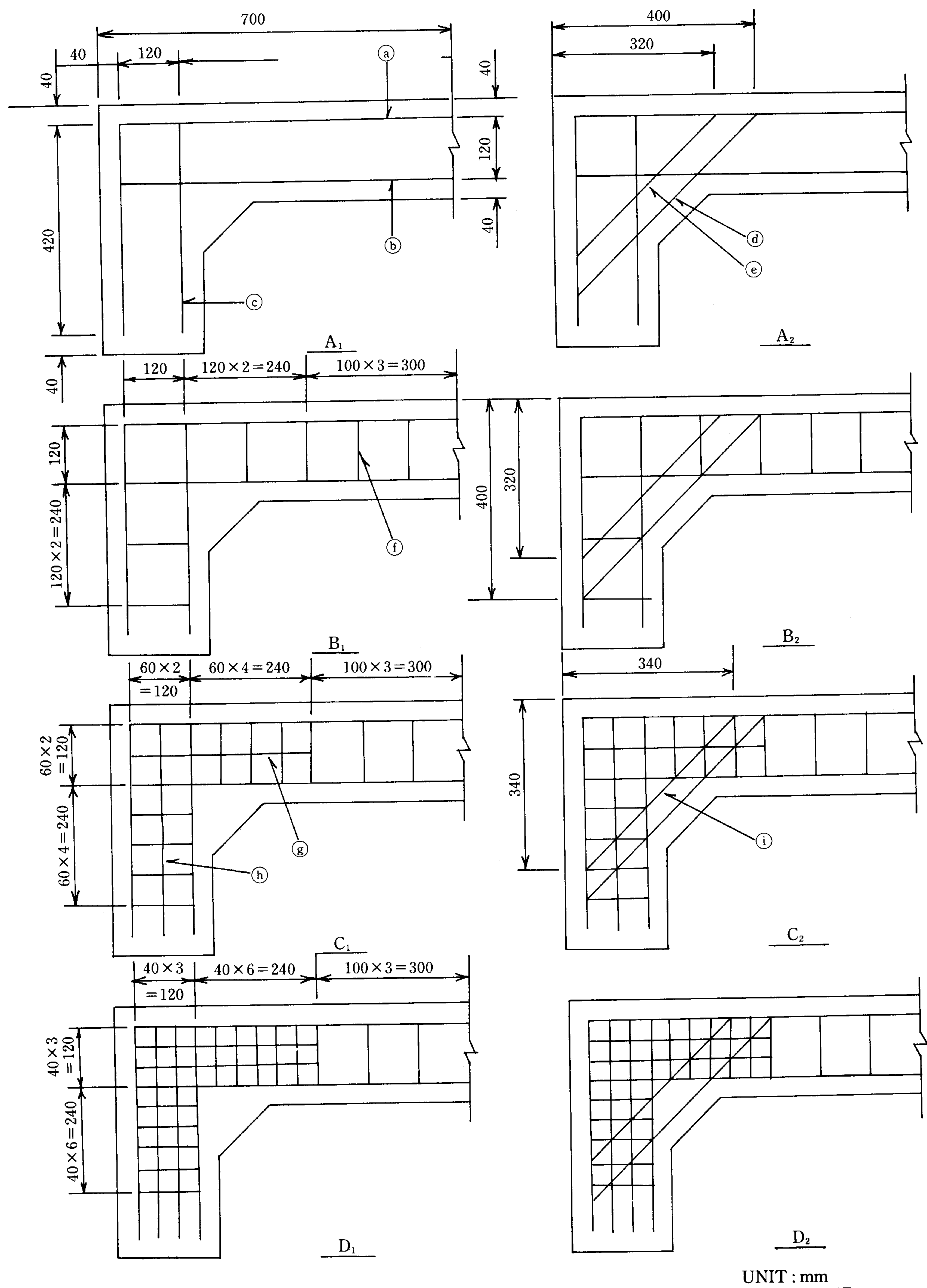


図3 配筋図





表2 測定結果

試験体	項目	負の曲げ					正の曲げ				
		$\sigma_{tu}$ (MPa)	$\sigma'_c$ (MPa)	$N_d/bd\sigma_{tu}$	$N_u/bd\sigma'_c$	破壊箇所	$\sigma_{tu}$ (MPa)	$\sigma'_c$ (MPa)	$N_d/bd\sigma_{tu}$	$N_u/bd\sigma'_c$	破壊箇所
A	A <sub>1</sub>	2.79 ±0.159	43.1 ±2.21	0.687	0.083	柱部	2.53 ±0.144	37.5 ±0.77	0.258	0.021	隅角部
	A <sub>2</sub>			—	—	—			0.452	0.042	隅角部
B	B <sub>1</sub>	2.79 ±0.159	43.1 ±2.21	0.877	0.076	柱部	2.43 ±0.101	34.7 ±3.21	0.319	0.023	隅角部
	B <sub>2</sub>			—	—	—			0.425	0.047	隅角部
C	C <sub>1</sub>	2.74 ±0.074	32.6 ±2.70	0.856	0.093	柱部	2.74 ±0.239	37.1 ±0.91	0.288	0.025	隅角部
	C <sub>2</sub>			0.856	0.094	柱部			0.418	0.051	柱部
D	D <sub>1</sub>	2.87 ±0.086	36.5 ±1.19	0.703	0.082	柱部	2.41 ±0.068	34.9 ±2.93	0.361	0.034	隅角部
	D <sub>2</sub>			0.761	0.080	柱部			0.474	0.061	柱部

$\sigma_{tu}$ : コンクリートの引張強度

$\sigma'_c$ : コンクリートの圧縮強度

$N_d$ : 斜めひびわれ発生荷重

$N_u$ : 破壊荷重

の6種類である。これらの試験体はおおむね次のような挙動を示して破壊に至った。すなわち図9にみられるとおり、最初に柱部または隅角部に曲げひびわれが発生し、柱部のひびわれは顕著な発達をすることなく、隅角端部に発生したひびわれが斜め方向に枝分かれした。さらに隅角中央部に斜めひびわれが発生し、このひびわれが部材上端に達することによって部材は耐力を失った。また斜めひびわれが発生してから部材が耐力を失うまでの余裕は少ない。斜めひびわれ発生荷重と破壊荷重との比をとると、およそ0.7~1.0の範囲であり、この傾向は直交筋量が少なく、斜め筋を配置していない試験体 (A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>) において顕著であった。すなわち、隅角部補強が不十分である試験体は、ほとんど斜めひびわれ発生と同時に破壊に至る傾向が認められた (表2)。また隅角部内側が圧縮となる場合にも斜めひびわれの発生は認められるが、顕著な発達は観察されなかった (図8)。

以上を総合して斜めひびわれと部材の破壊との関連について次の点に注目する必要があると思われる。

ア) 本実験のような曲げモーメントと軸力またはせん断力の組合せ状態 (M/N 比で 40cm 程度) においては、隅角部内側が圧縮となる場合には、斜めひびわれの発達は破壊の直接原因とならない。ただし、モーメントがさらに卓越する場合は不明であり、今後の検討課題と思われる。

イ) 一方、内側が引張となる場合には、補強が不適切であれば、柱あるいは梁部が十分な耐力、変形能力を有している場合でも、斜めひびわれの発達によって隅角部において急激な破壊を生ずる可能性があり、耐力の面からみた余裕は0~30%程度である。

## (2) 直交筋の効果

直交筋の効果を検討するために、斜めひびわれ発生荷重および破壊荷重の変化の様子を図10, 11に示した。同図において縦軸はそれぞれコンクリートの引張強度、圧縮強度を用いて無次元化した斜めひびわれ発生荷重と破壊荷重を示し、横軸は直交筋の補強比を示している。こ

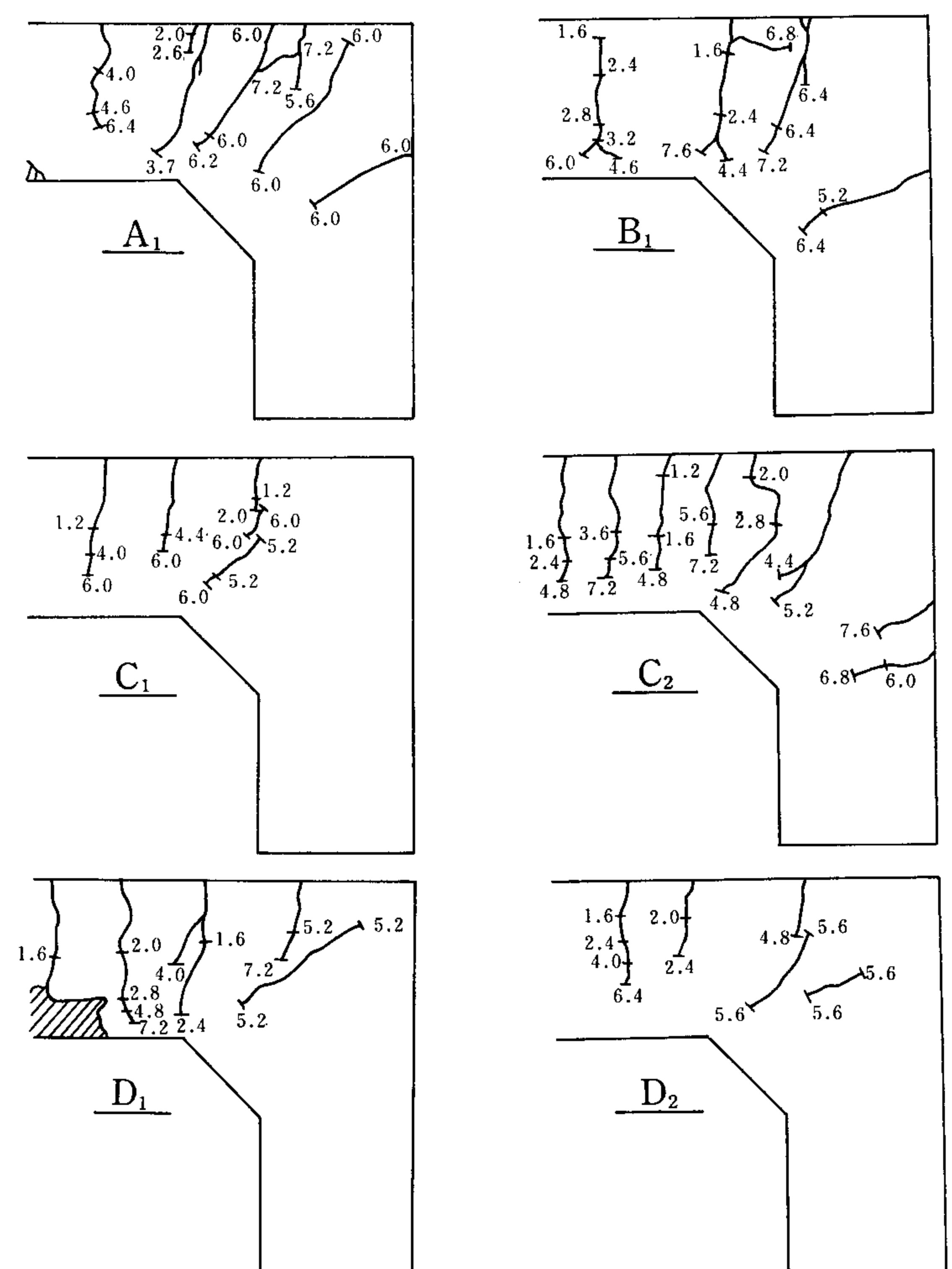


図8 ひびわれの発達状況 (負の曲げ)

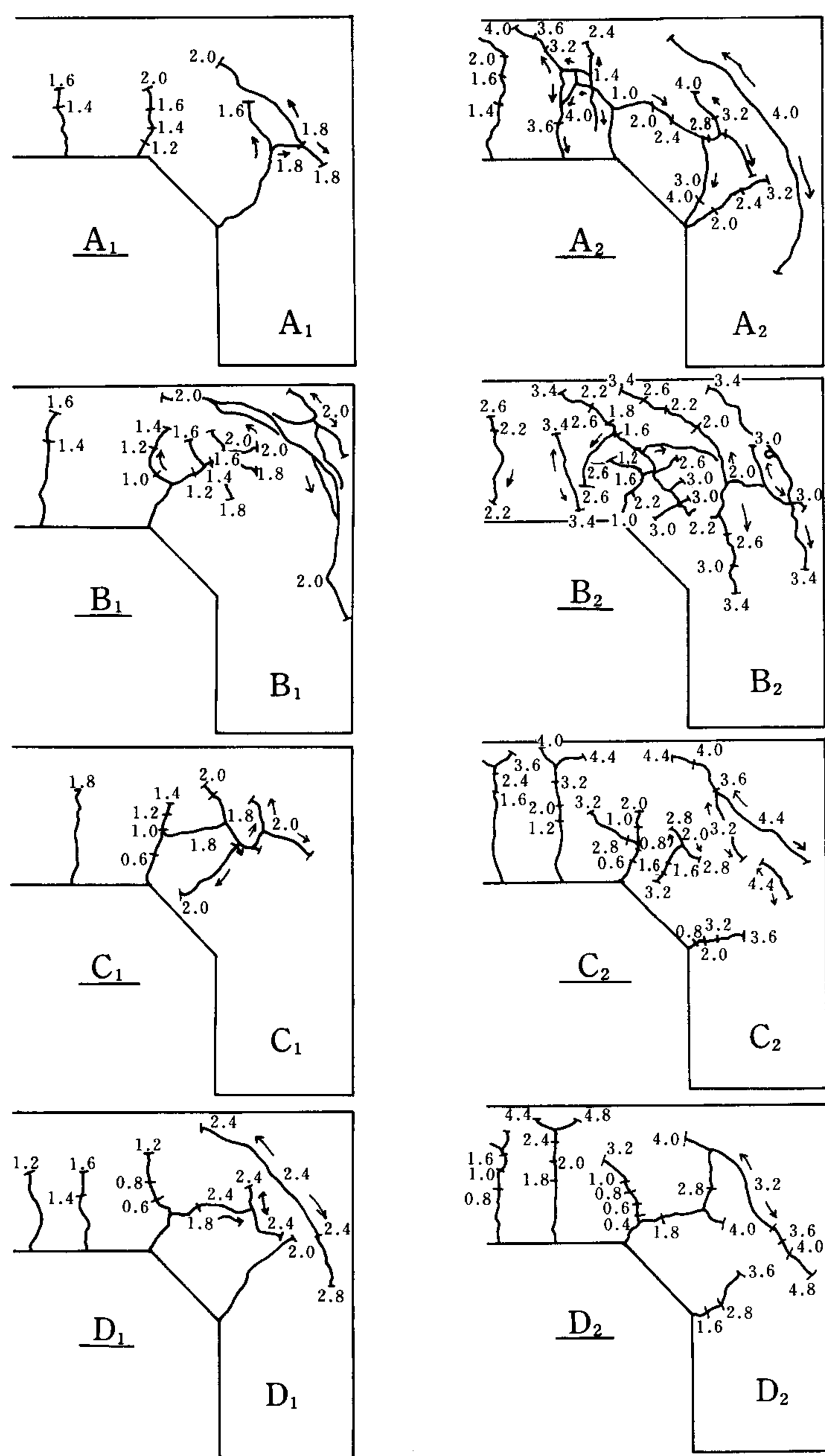


図9 ひびわれの発達状況 (正の曲げ)

ここで直交筋の補強比については、いわゆるスタラップ比 ( $v = A_s / bs$ ,  $A_s$  はスタラップの断面積,  $b$  は断面幅,  $s$  はスタラップ間隔) と全主鉄筋比 ( $P_w = (A_s + A'_s) / bh$ , 本実験の場合は1.7%) との比をとることによって評価した。なお、図11において破線で測定値を結んだ試験体は柱部で破壊が生じた試験体である。

図10, 11から、斜めひびわれ発生荷重と破壊荷重についておおむね次の傾向が認められる。

- ア) 斜めひびわれ発生荷重については、隅角部の内側が圧縮される場合も引張となる場合も、直交筋の多少による顕著な差が認められない。すなわち直交筋のみでは斜めひびわれの発生時期を遅らせることはできないように思われる。
- イ) 隅角部の内側が圧縮となる場合の破壊荷重については、柱部において破壊が生じたため、直交筋の多少による変化が認められない。言い換えれば、本実験の範

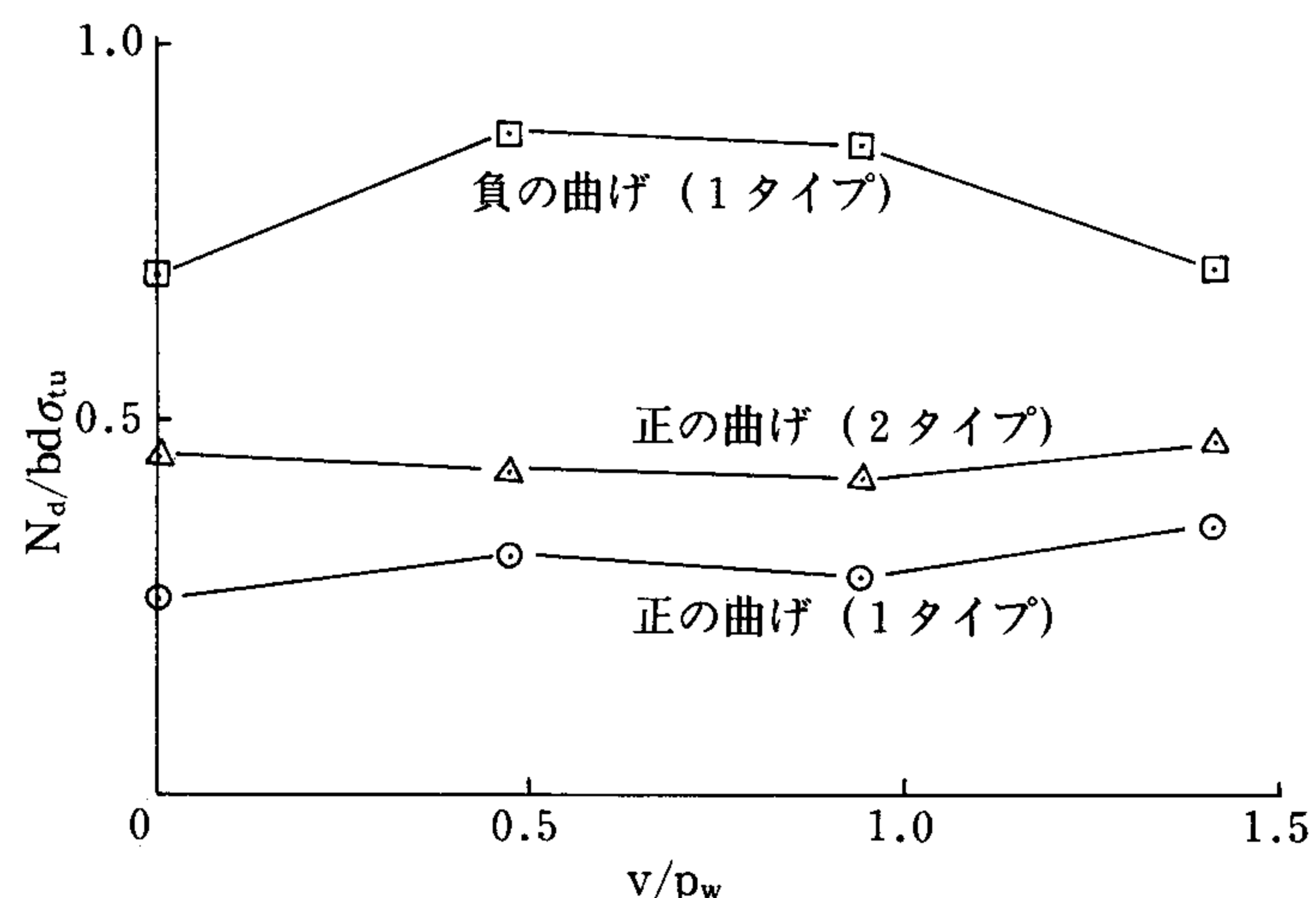


図10 斜めひびわれ発生荷重の変化

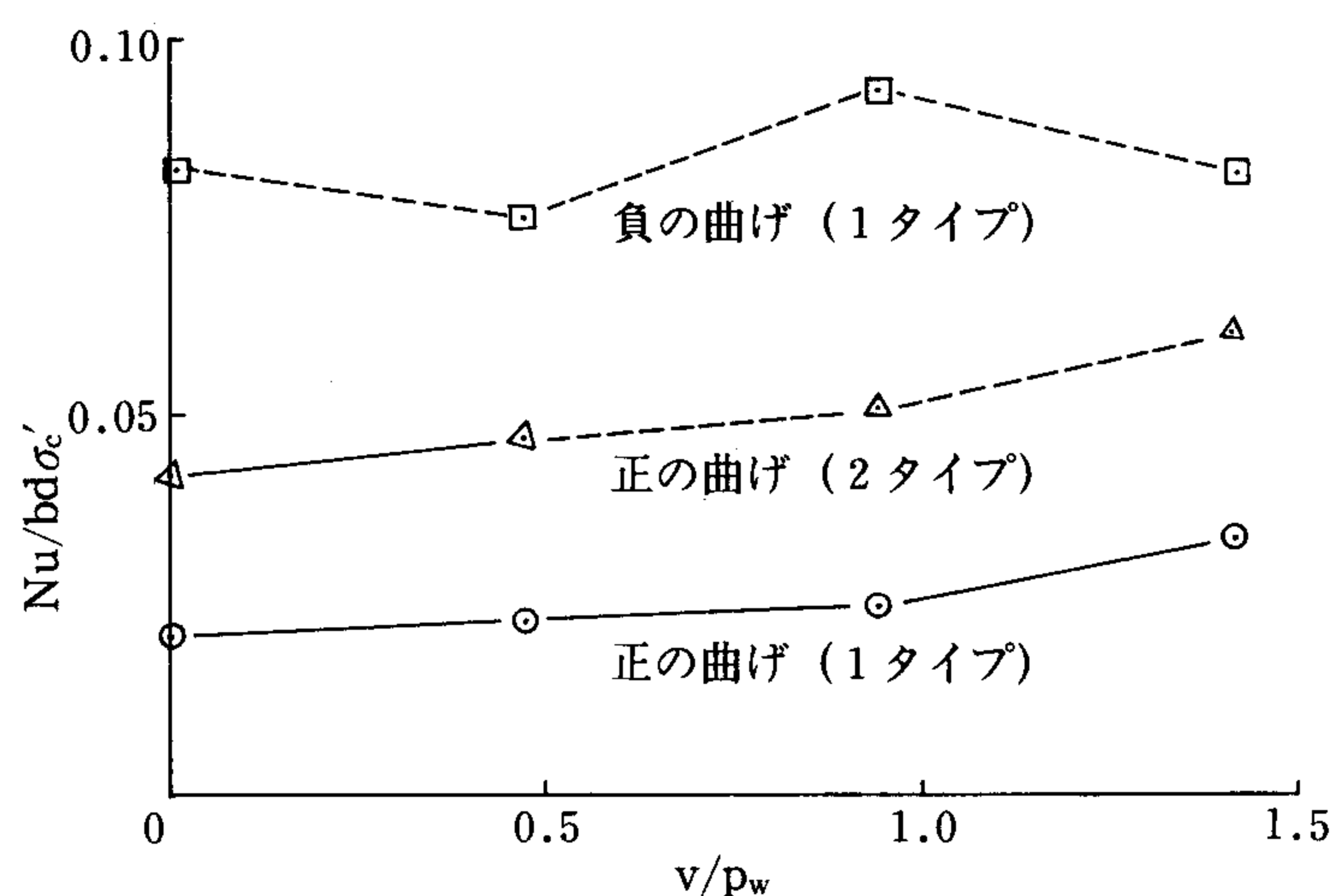


図11 破壊荷重の変化

囲内では、隅角部が負の曲げを受けるときに直交筋は顕著な弱点とはならないように思われる。

ウ) 隅角部の内側が引張となる場合の破壊荷重については、おおむね直交筋の量に比例して耐力増加が認められる。配筋の立場からみれば、 $v/p_w$  は1.5程度が上限値と考えられるが、この範囲での増加率は主鉄筋のみの場合と比較して20%程度である。しかし、斜め筋を配置していない1タイプの試験体はすべて隅角部で破壊が生じており、コンクリートと鉄筋のひずみ分布から推定すると柱部は耐力や変形能力に対してまだ余裕がある。したがって、少なくとも隅角部に対し柱や梁部と同等の耐力を持たせるためには、直交筋のみの補強では不可能のように思われる。

### (3) 斜め筋の効果

斜め筋を配置した場合としない場合との斜めひびわれ発生荷重および破壊荷重の差異についても、表2, 図10, 11に示した。同表または同図から斜め筋の効果について次の傾向が認められる。

- ア) 隅角部内側が圧縮となる場合には、斜め筋のひずみは破壊時でも最大  $500 \times 10^{-6}$  程度であり、直交筋と同様に斜めひびわれ発生荷重、破壊荷重とも本実験

では顕著な差が認められない(表2)。

イ) 隅角部内側が引張となるときの斜めひびわれ発生荷重については、直交筋量を一定とした場合、斜め筋を配置した試験体は配置しない試験体に対し、およそ30~50%程度ひびわれ耐力が増加し、明らかな差異が認められる。過度の斜めひびわれの発生は破壊に対して不利であるとの立場に立てば、たとえば斜め筋の量を増加させることにより、斜めひびわれ強度を上げることが可能と思われる。ただし、斜めひびわれ強度を増加させても、柱や梁部の耐力の増加を図らねば構造系全体の変形能力や耐力を考慮するときに、補強したことがかえって欠点を生じさせる可能性もある。したがってこの斜めひびわれに関しては、その発生メカニズムとつり合い機構の解明、さらに具体的な斜め筋量の算定式の提案などが今後の検討課題であると考えられる。

ウ) 隅角部内側が引張となる場合の破壊荷重についても前項と同様に斜め筋の効果が認められる。破壊箇所が柱部の試験体(C<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>)もあるため、全試験体の結果を同一視はできないが、直交筋量が一定の場合、斜め筋を配置したときは配置しない場合のおよそ2倍程度の破壊耐力を持つ結果を得ている(A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>)。さらに、ひずみの測定結果によれば、隅角部で破壊した試験体(A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>)の斜め筋のひずみはほぼ降伏直前の状態にあり、柱部で破壊が生じた試験体(C<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>)のそれは降伏状態にあった。

なお、本実験においては斜め筋はいわゆる用心鉄筋の意味で使用したもので、主鉄筋量、断面寸法、直交筋量などに関連づけて配筋量を決めていない。したがって一般性を持たせるためには、たとえばモーメントと軸力との比や斜め筋量などを変化させた基礎実験も追加し、解析上の基礎資料を得る必要がある。

#### (4) 実験結果のまとめと補強法の提案

隅角部が閉じられる場合(負の曲げ)と開かれる場合(正の曲げ)の挙動について、斜めひびわれ発生や破壊に及ぼす直交筋と斜め筋の影響に重点をおいて、その結果を整理すれば次のとおりである。

直交筋や斜め筋は本実験の範囲では、隅角部が閉じられる場合には顕著な欠点を示さない。また、隅角部が開かれる場合には直交筋はひびわれの集中を防ぎ、分散効果があるように思われる。一方、斜め筋は隅角部の開口を防ぎ、斜めひびわれの発生をある程度防止し、耐力を増加させる機能を有する。

以上のことから、斜めひびわれの発達を防止し、少なくとも梁や柱と同等以上の耐力を持たせるとの立場からみれば、隅角部の補強については、定性的には次のよう

にするのが適当と思われる。

- i) 正負の曲げの大きさが同程度である場合には、隅角部が開かれる状態、すなわち正の曲げに対して設計する。
- ii) 補強については、主鉄筋比の70%、できれば主鉄筋比と等しいスタラップ比によって直交配筋し、さらに主鉄筋量の50%程度の斜め筋を配置するのが適当である。
- iii) かぶりコンクリートのいわゆるスポーリングを防止し、かつ斜め筋の配置を容易にするために、ハンチを設けることが望ましい。

## 5. 結 論

コンクリートラーメン隅角部が正負の曲げを受ける場合の挙動について実験面から検討し、その補強法について定性的な提案を行なった。要点を列記すれば次のとおりである。

- i) 隅角部には斜めひびわれが発生し、これが破壊の原因となる可能性があるが、その傾向は本実験の範囲内では隅角部が閉じられる場合よりも開かれる場合に顕著である。したがって、少なくとも正負の曲げの大きさが同程度であるときには、隅角部が開かれる場合、すなわち正の曲げが作用する状態を基本にして設計するのが適当である。
- ii) その場合に、単に梁や柱の軸方向鉄筋を延長させて補強するだけでは、隅角部に生ずるいわゆるもろい破壊を防止することは困難と思われる。新たに軸方向鉄筋を直交させて追加したり、ハンチに沿う斜め筋を配置することが望ましい。これらの直交筋や斜め筋の必要量についてはさらに検討が必要と思われるが、本実験の範囲(M/N=40 cm 程度)では、直交筋に対しては主鉄筋比のおよそ70~100%以上のスタラップ比で配筋し、さらに主鉄筋量の50%程度の斜め筋を隅角部内側に配置するのが適当と考えられる。

(原稿受付 昭和57年9月24日)

## 参 考 文 献

- 1) コンクリート標準示方書, 5節ラーメン, 土木学会
- 2) 福田武雄; Spannung und Formaenderung des orthogonalen, homogenen Stabeckes ohne Ausrundung, 土木学会誌, 第15巻6号, pp. 433~459, 1929年6月
- 3) 戸塚, 津野, 泉; “光弾性によるコンクリート構造物の隅角部に関する研究”, 第24回土木学会年次学術講演会概要集, 1969年
- 4) B. Mayfield et al.; “Corner Joint Details in Structural Lightweight Concrete”, ACI Journal, PP. 366~372, May, 1971.
- 5) B. Mayfield et al.; “Strength and Stiffness of Lightweight Concrete Corners”, ACI Journal, PP. 420~



- 427, July, 1972.
- 6) I. Nilsson; "Reinforced concrete corners and joints subjected to bending moment", National Swedish Building Research, D7, 1973.
  - 7) 神山, 津野, 横溝; "鉄筋コンクリート隅角部の補強筋に関する実験的研究", 第26回土木学会年次学術講演会 概要集, 1971年
  - 8) 津野, 泉; "コンクリート構造物の隅角部設計法", 土木技術, 1974年9月~11月,
  - 9) 川口他1名; "軸方向引張力と曲げモーメントとを受ける鉄筋コンクリート部材の設計", 土木学会論文報告集 283号, pp. 105~116, 1979年3月
  - 10) 川口; "組合せ荷重を受けるコンクリート部材の強度および変形特性", 早稲田大学修士論文集, 1972年3月